

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Донбасский государственный
технический университет»

Бакуменко Юлия Сергеевна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОЕМОВ ЛУГАНСКОЙ
НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Научная специальность 1.6.21 — Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Алчевск, 2024

Работа выполнена на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

Научные руководители:	Подлипенская Лидия Евгеньевна , кандидат технических наук, доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донбасского государственного технического университета»
Официальные оппоненты:	
Ведущая организация:	

Защита диссертации состоится «...» 202_ года в _____ на заседании диссертационного совета Д 24.2.365.02 по адресу: _____ ауд._____. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/> ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Автореферат разослан «__» _____ 202_ года.

Учёный секретарь диссертационного совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. По запасам водных ресурсов Луганская Народная Республика (ЛНР) является недостаточно обеспеченной, что связано как с природными, так и с антропогенными факторами. Особенностью водного режима рек ЛНР является неравномерное распределение стока в течение года. Местные водные ресурсы не обеспечивают разбавления сточных, особенно загрязненных вод, не дают возможности поддерживать должное санитарно-экологическое состояние водных объектов.

В современных условиях процессы развития и преобразования водных экосистем протекают значительно быстрее, чем в XX веке, поскольку они обусловлены в основном не естественными факторами, действующими в масштабе геологического времени, а быстродействующими антропогенными. Водные объекты испытывают огромный антропогенный пресс, связанный с их многофункциональным использованием: питьевое, хозяйственно-бытовое и промышленное водоснабжение; прием сточных и дренажных вод; использование в лечебных целях и рекреация; рыбное хозяйство; гидроэнергетика, гидротехническое строительство и многое другое, что нарушает их нормальное функционирование.

Для повышения экологической безопасности в области использования и охраны водных объектов необходимо регулярно осуществлять наблюдения за экологическим состоянием водоемов и водотоков и выполнять их геоэкологическую оценку с учетом техногенной загруженности и особенностей регионального и локального водопользования.

В настоящее время основными экологическими проблемами ЛНР, возникающими в сфере водопотребления и водопользования, являются:

– дефицит водных ресурсов, поскольку, начиная с 2014 г., в Республике произошли существенные сдвиги в системе водопользования и водопотребления, приведшие к увеличению значения поверхностных вод водоемов в объеме производства питьевой воды и использования для рекреационных целей;

– увеличение загрязненности поверхностных вод, связанное с более интенсивным использованием их в промышленности и населением, устареванием очистных технических сооружений, снижением контроля со стороны природоохранных организаций;

– недостаточная изученность экологического состояния водных объектов ЛНР в связи с уменьшением объемов их исследований, отсутствием системного подхода к геоэкологической оценке с учетом не только качества воды, но и других влияющих факторов.

В связи с этим направление исследований, связанное с изучением экологического состояния водных объектов ЛНР, возможностью их самоочищения и самовосстановления, разработкой возможных путей повышения экологической безопасности при использовании водных ресурсов, является актуальным.

Объект исследования — водоемы Луганской Народной Республики.

Предмет исследования — разработка методов и подходов к проведению геоэкологического анализа водоемов многоцелевого назначения и обоснование подхода по повышению экологической безопасности при их использовании.

Целью диссертационной работы является разработка системы геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики и обоснование подхода к управлению качеством питьевой воды, производимой из поверхностных вод, способствующего повышению экологической безопасности при использовании водоемов.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие научные задачи:

1. Анализ географического положения, промышленных, сельскохозяйственных, демографических и экологических особенностей водных ресурсов региона.

2. Анализ потребностей в водоснабжении населения и хозяйства региона.
3. Анализ теоретических и методических основ геоэкологического исследования водоемов.
4. Разработка системы показателей для оценки экологического состояния водоемов ЛНР с учетом их целевого назначения, особенностей функционирования и рационального использования.
5. Разработка методики геоэкологической оценки водоемов как объектов рекреации, апробация ее на конкретных объектах. Расчёт рекреационного потенциала исследуемых водоемов.
6. Разработка алгоритма оценки экологической безопасности использования водоемов и его апробирование на примере Исаковского водохранилища.
7. Разработка и обоснование подхода к управлению качеством питьевой воды, производимой из поверхностных вод, способствующего повышению экологической безопасности в области использования водоемов.

Для решения поставленных задач **использовались следующие методы:** физико-химические и сапробиологические методы анализа воды; описательные методы; статистические методы анализа лабораторно-полевых измерений; методы системного, корреляционного, регрессионного анализа и экспертных оценок при оценке параметров математических моделей; геоинформационные системы QGIS.

Научные результаты, выносимые на защиту

1 Система геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики в современных условиях с учетом многоцелевого использования водных объектов.

2 Корреляционные и регрессионные связи между показателями качества воды водоемов. Результаты математического моделирования динамики изменения показателей качества воды из поверхностных источников.

3 Методика оценки эффективности работы предприятий по водоподготовке и разработка рекомендаций по водоочистке для повышения экологической безопасности использования водных объектов. Результаты математического моделирования динамики изменения количества хлорсодержащих компонентов при водоочистке в зависимости от качества исходной воды.

Обоснованность и достоверность результатов исследований и научных выводов обеспечивается анализом предшествующих работ в области исследований геоэкологического состояния водоемов ЛНР, значительным объемом обработанного фактического материала, тщательностью отбора и анализа проб в соответствии с принятыми методиками, сопоставимостью проб по объему, применением статистической обработки.

Соответствие диссертации паспорту специальности.

Тема диссертационного исследования и его содержание соответствуют требованиям паспорта специальности ВАК 1.6.21 – Геоэкология по следующим пунктам:

п. 5 – «Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны».

п. 6 – «Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли»,

п. 12 – «Оценка состояния водного режима территорий и геоэкологические последствия его изменения в связи с изменениями климатических параметров. Геоэкологический

анализ влияния регулирования речного стока на водные, прибрежно-водные и наземные экосистемы и обоснование путей сохранения и восстановления водных и наземных экосистем».

Практическая значимость результатов исследования:

– разработанные алгоритмы геоэкологической оценки водоемов с учетом их многоцелевого назначения могут быть использованы как для водоемов ЛНР, так и других субъектов Российской Федерации;

– выявленные цикличности (сезонные и суточные) могут использоваться для своевременного изменения технологии подготовки воды в металлургическом производстве, коммунальном хозяйстве и при производстве питьевой воды в цехе водоподготовки ООО «ЮГМК»;

– установленные корреляционные связи и построенные уравнения множественной регрессии могут использоваться для прогнозирования поглощаемости хлора на первом этапе очистки воды в цехе водоподготовки ООО «ЮГМК». Текущий прогноз по моделям дает возможность своевременно реагировать на изменения в окислительно-восстановительном потенциале воды и соответственно выбирать оптимальные схемы очистки при производстве воды из поверхностных источников;

– результаты работы могут использоваться для принятия управленческих решений в области восстановления водных систем и улучшения качества воды с использованием инженерно-технических методов.

Материалы диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры экологии безопасности жизнедеятельности ДонГТУ в курсах «География», «Гидрохимия и охрана водных ресурсов».

Личный вклад соискателя. Соискатель (1) определил цели и задачи исследования, (2) выполнил обзор публикаций и Интернет-источников по геоэкологической оценке водоемов с учетом их фактического использования; сформировал базу данных по химическим, бактериологическим и сапробиологическим показателям качества воды; (3) спланировал и провел экспериментальные исследования и обработку их результатов; (4) сформулировал выводы диссертации.

Апробация результатов. Результаты исследований по теме диссертации докладывались на научных семинарах кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ДонГТУ, Научного центра экологического мониторинга окружающей среды ДонГТУ; Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (Донецк, 2018); Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Экологический мониторинг и биоразнообразие» (Ишим, 2018); Международной молодежной конференции «Планета – наш дом» (Алчевск 2020г.); Научно-технической конференции «Донбасс будущего глазами молодых ученых» (Донецк, 2021); Международной молодежной конференции «Планета – наш дом» (Алчевск 2021 г.); Международной молодежной конференции «Планета – наш дом» (Алчевск 2022 г.); IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы социально-экономического и экологического развития региона» (2022); Юбилейной международной научно-технической конференции «65 ЛЕТ ДонГТИ». Наука

и практика. Актуальные вопросы и инновации (Алчевск, 2022); XIX Международном форуме–конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (СПБ 2023); Всероссийской научно-практической конференции студентов аспирантов и молодых ученых «Строительство и техносферная безопасность» (Антрацит, 2024г.); IX Международной научной конференции «Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызов современности» (Донецк 2024); VIII Международная научно-техническая конференция «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства (Алчевск 2024).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве 3 работы в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН РФ, 1 в журнале индексируемом в Scopus и др.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит 162 страницы машинописного текста, 61 таблицу, 59 рисунков.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, поставлены цели и задачи диссертационного исследования, охарактеризованы научная новизна и практическое значение полученных результатов, сформулированы результаты, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ проблемных вопросов экологической безопасности использования водных ресурсов ЛНР и поставлены задачи исследования.

Территория района относится к территориям с высокой сложностью инженерно–технических условий освоения. В геологическом строении территории принимают участие каменноугольные и четвертичные отложения. Для ЛНР характерными являются степные расчлененные ландшафты, сильно расчлененные возвышенности и речные долины. Перепад высот достигает до 300м.

Климат в данной местности резко континентальный, который характеризуется резкими сменами колебания температуры воздуха, сильными восточными ветрами, жарким и сухим летом и малоснежной зимой с частыми оттепелями, туманом, гололедицей.

Эродированность почв составляет 48–80%. Водообеспеченность по Луганской Народной Республике составляет 0,56 тыс. м³ воды на одного жителя в год и относит регион к территориям недостаточно обеспеченным.

Гидрографическая сеть подчинена сложной складчато-сбросовой тектонике. Реки текут в южном и юго-восточном направлениях по простиранию складок и трещиноватостям горных пород Донецкого кряжа.

По территории республики протекает 96 рек общей протяженностью 3173 км, 60 озер (площадью зеркала 536 гектаров, средняя глубина озер 3-4м).

Для аккумуляции воды в ЛНР функционируют 73 водохранилища с полным объемом 254,0 млн. м³, из них 4 – с объемом более 10 млн. м³ в реках бассейна Северского Донца. В ЛНР 13 водохранилищ внесено в список объектов стратегического значения. Наибольшим и самым востребованным из них является Исаковское водохранилище.

Негативное воздействие на экологическое состояние района исследования оказывает антропогенное влияние:

1. Деятельность предприятий по добыче угля и песчаников (изменение геологического строения недр, выведение из использования больших площадей, заполненных породами, изменение уровня подземных вод, загрязнение водоемов сточными водами предприятий и пылью, выветриваемой с поверхности отвалов.

2. Деятельность металлургических комплексов (загрязнение воздуха пылью, дымом и токсичными газами, выведение из пользования территорий, занятых шлаком и шламами, загрязнение водоемов сточными водами предприятий и путем оседания пыли и газа на поверхность.

3. Интенсивное ведение сельского хозяйства на подверженных эрозии и истощенных почвах приводит к смыву с поверхности полей удобрений и химикатов в водоемы и водотоки.

4. Военные действия, которые наблюдаются в ЛНР уже 10 лет, приводят к загрязнению атмосферы продуктами горения боеприпасов, выхлопными газами тяжелой техники и авиации, поверхностный слой земли с растительным покровом портится при взрыве снарядов, окопы и защитные сооружения также искажают рельеф местности. Водные объекты абсорбируют в себя смывы топлива и остатки взрывчатых веществ.

Выполненный анализ географического положения, промышленных, сельскохозяйственных, демографических и экологических особенностей, водных ресурсов региона показал, что:

- дефицит водных ресурсов в регионе в первую очередь вызван сложными природными условиями Донбасса;

- аккумуляция водных ресурсов в искусственных водоемах решает проблему дефицита лишь частично;

- спустя более 50 лет созданные для нужд промышленности водоемы становятся природно-антропогенными, но, несмотря на естественные процессы самоочищения, требуют постоянного контроля качества питающих вод и должного обслуживания гидротехнических сооружений.

Анализ потребностей в водоснабжении населения и хозяйства региона выявил, что:

- в ЛНР в течение 10 лет наблюдается острый дефицит питьевой воды связанный с изношенностью водопроводных сетей, малым объемом чистой воды доступной для подачи населению, порывами и просадками электрических сетей, что приводит к остановкам насосных станций;

- водоемы Луганской Народной Республики расположены неравномерно. В связи с разным характером хозяйствования в регионах характер влияния и использования водных объектов также разный. На севере Республики развито сельское хозяйство, на юге — в основном промышленность и энергетика, что требует значительных затрат воды.

- ввиду ограниченности природных водоемов население использует находящиеся рядом водоемы для своих нужд (орошение земель, рыбная ловля, занятия спортом, купание, коммунально-бытовые нужды);

- искусственно созданные для накопления водных ресурсов водоемы содержат воду низкого качества (в течение года наблюдаются превышения по общесанитарным показателям, летом добавляются микробиологические);

- безмерное использование водных ресурсов приводит к снижению уровня воды в водохранилищах, низкому уровню разбавления сточных вод и нарушению баланса в экосистемах водоемов и близлежащих территориях.

Технологические схемы очистки отработанных вод предприятия и водоподготовки при заборе воды из открытых источников уже сильно устарели. Необходимо провести оценку их эффективности и незамедлительно принимать меры к их модернизации или замене.

Анализ теоретических и методических основ геоэкологического исследования водоемов показал:

- отсутствует методика, которую можно использовать для оценки водоемов многоцелевого использования;
 - геоэкологической оценкой состояния водоемов на территории ЛНР не занимаются должным образом;
 - комплексная геоэкологическая оценка водоемов не проводилась в течение 30 лет.
- Исключение составляют студенческие работы по экологии, но дальше вузов результаты исследований не выходили. Для каждого конкретного водоема необходимо определить слабые места и индикаторы качества воды для своевременной и корректной оценки геоэкологического состояния.

Постановка задачи исследования схематически изображена на рисунке 1.



Рисунок 1. Постановка задач исследования.

Во второй главе выполнена разработка научных средств для составления системы геоэкологической оценки водоемов многофункционального назначения.

Исследование качества воды водоема составлено на основе данных:

1. Экологического мониторинга Исаковского водохранилища, регулярно проводимого Министерством природы ЛНР.
2. Исследований качества воды по берегам, выполняемых ГС «Алчевская городская санитарно-эпидемиологической станция» и автором работы.
3. Результатов анализа воды, получаемых химико-бактериологической лабораторией цеха водоподготовки ООО "ЮГМК"(свидетельство об аттестации ХБЛ №Рб 002/2022 от 17.01.2022).

На основе проработанного материала была составлена и опробована система комплексной геоэкологической оценки водоемов ЛНР с учетом многоцелевого использования водных объектов (рис2).

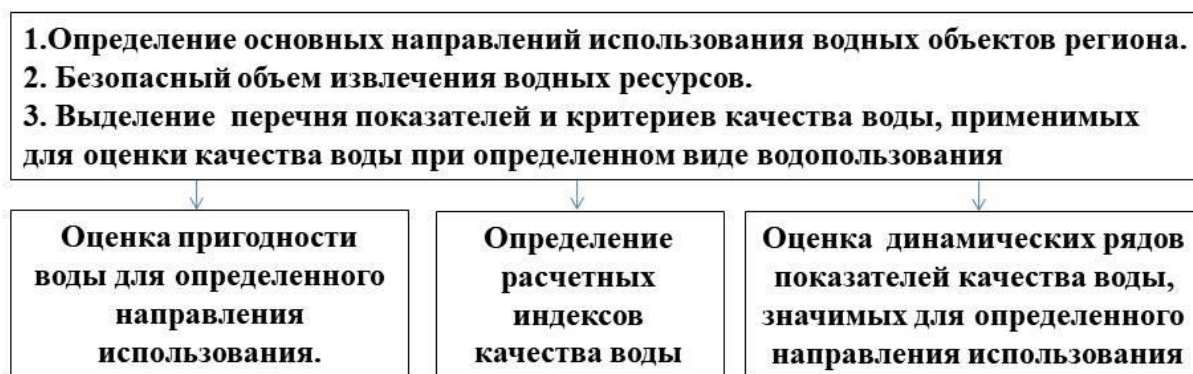


Рисунок 2 – Система геоэкологической оценки водоемов ЛНР в современных условиях с учетом многоцелевого использования водоемов

Вторая глава содержит описание разработанных и подобранных методик для геоэкологической оценки качества воды водоемов с учетом их фактического использования:

- статистический подход к оценке динамики изменения ряда важных показателей качества воды (разработан автором);
- алгоритм оценки адекватности и приемлемости моделей изменения показателей качества воды на основе временных рядов и множественной регрессии (разработан автором);
- расчетные индексы оценки ИЗВ, индекс сапробности (по фитопланктону), индекс самоочищения (по ОМЧ);
- основные критерии для оценки качества воды по направлениям использования (скомпонованы автором);
- методика исследования водоемов как объектов для рекреации и отдыха на основе множества показателей качества воды и экспертных оценок рекреационных зон (разработана автором), метод расчета рекреационного потенциала водоема.

Третья глава содержит первый защищаемый результат исследований.

Разработанная система геоэкологической оценки водоемов с учетом их фактического использования описана во второй главе и применена к Исаковскому водохранилищу.

Исаковское водохранилище было введено в эксплуатацию в 1957 г. Данный объект состоит из чаши, водоёма и непосредственно гидротехнических сооружений (Приложение А). Площадь зеркала при нормальном подпорном уровне (НПУ) с абсолютной отметкой 110,04 м составляет 2,93 км². Полный объём при НПУ— 20,4 млн. м³.

Вокруг Исаковского водохранилища расположены 5 сел, 23 базы отдыха, 13 садовых обществ (Приложение Б).

При исследовании Исаковского водохранилища схема проведения его геоэкологической оценки представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Система геоэкологической оценки водоемов ЛНР в современных условиях с учетом многоцелевого использования водоемов

База данных содержит сведения о 31 показателе качества воды Исаковского водохранилища (Приложение В). Первичная обработка массива данных выявила превышение и отклонение от нормы по 9 показателям.

Составлена таблица 1, отображающая % превышений ПДК

Таблица 1 — Превышение ПДК за период 2014-2021 г.

№ п/п	Наименование показателей	Обозначение		НД	Превышения, раз			Период года
					мин	макс	среднее	
1	2	3		4	5	6	7	8
1	Сухой остаток	X13	Y13	СанПиН 2.1.5.980-00	0,97	1,57	1,24	Весь год
2	Сульфаты	X14	Y14	СанПиН 2.1.5.980-00	0,73	1,39	1,15	Весь год
3	Жесткость	X11	Y11	ГОСТ 2761-84	0,9	1,37	1,19	Весь год
4	Магний	X10	Y10	ГОСТ 2761-84	0,8	1,34	1,08	Весь год
5	Ортофосфаты	X19	Y19	ГОСТ 2761-84	0,01	3,06	0,79	Июль-апрель
6	Общие колиформы	X27	Y27	ДСТУ 4808-2007	0,006	7	0,47	Май-сентябрь
7	ТКБ	X28	Y28	СанПиН 2.1.5.980-	0	48,6	2,17	Июль- август

				00				
8	БПК ₅	X17	Y17	СанПиН 2.1.5.980-00	0	2,6	0,8	Май- сентябрь
9	Растворенный кислород	X33	Y33	СанПиН 2.1.5.980-00	0,247	60	1,9	Май- сентябрь

Согласно «Гигиеническим требованиям к охране поверхностных вод» [108] Исаковское водохранилище относится к обеим группам водопользования ("для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий" и " для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест"). Следовательно, содержание химических веществ не должно превышать минимальное из предельно допустимых для категорий или гигиенические ПДК и ОДУ веществ в воде водных объектов, утвержденных в ГН 2.1.5.689— 98, ГН 2.1.5.690— 98 с дополнениями.




Основные пользователи водных ресурсов Исаковского водохранилища должны принимать к сведению, что вода в нем высокой минерализации, а в летнее время повышаются показатели органических загрязнений и микробиологические показатели.

В таблице 2 представлена интенсивность использования водоема по основным направлениям

Таблица 2 Основные направления использования Исаковского водохранилища

М Е С Я Ц	Направление использования							
	Техническое водоснабжение			Питье- вое водоснаб жение	Рекреация			Рыбная ловля
	ООО «ЮГМК»	Тепло- вых сетей	Садовых обществ		Купа- ние	Туризм	Спорт	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

В таблице цветами отмечена интенсивность использования:

	вода или водоем используется в течение месяца
	вода или водоем используется при определенных условиях
	вода или водоем не используется

Оценка пригодности воды для определенного вида пользования выявила основные показатели качества воды, являющиеся основополагающими для использования.

Вода Исаковского водохранилища имеет отклонения по сухому остатку, сульфатам, ортофосфатам, меди, магнию, содержанию растворенного кислорода и БПК, микробиологическим показателям относительно направлений использования (рыбохозяйственного, орошения, культурно-бытового и занятий спортом). Потребители,

использующие ее в качестве технической воды, должны учитывать, что вода имеет высокий сухой остаток, жесткость и взвешенные вещества.

Для оценки водоема как открытого источника питьевого водоснабжения применялся ДСТУ4808-2007. По наихудшим значениям блоковых критериев, представленных на рисунке 4, отмечаются отклонения по общесанитарным и микробиологическим показателям.

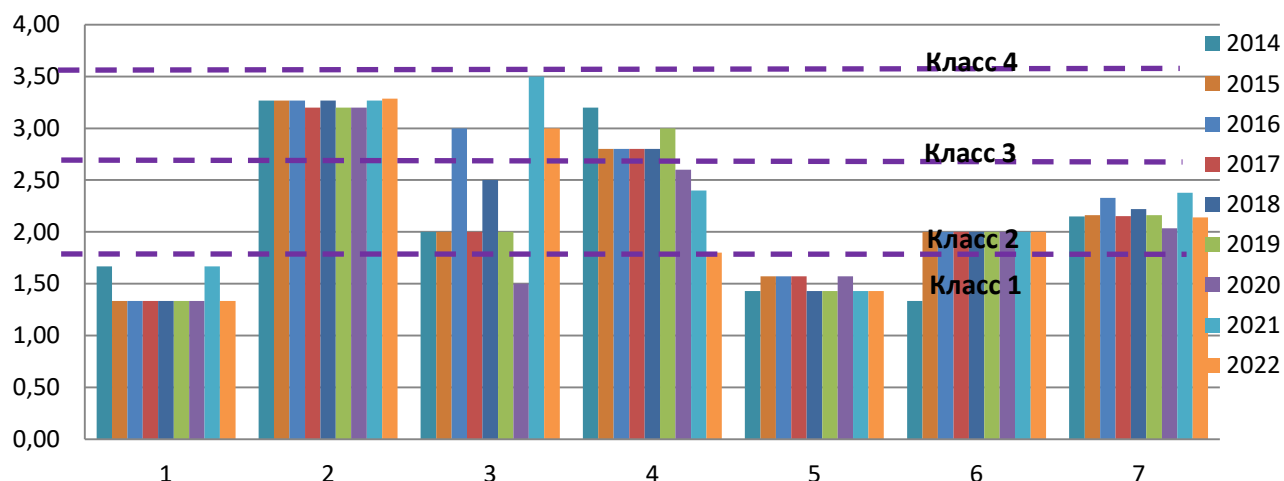


Рисунок 4– Наихудшие значения блоковых критериев за 2014-2022 годы:
1-органолептические, 2-общесанитарные, 3-гидробиологические,
4-микробиологические, 5-токсикологические (неорганические)
6-токсикологические (органические) показатели, 7-интегральный показатель

Согласно рекомендациям ДСТУ4808-2007 для использования воды водохранилища необходимы технологии очистки воды, обладающие обеззараживающими свойствами и способные существенно снизить ее солесодержание. Данные рекомендации учтены при строительстве предприятия по очистке воды — Цеха водоподготовки ООО «ЮГМК».

Исаковское водохранилище — самый востребованный водоем региона. Основное влияние на человека водоем оказывает в качестве источника питьевой воды и объекта рекреации.

Для детального исследования водоемов как объектов рекреации разработана методика, охватывающая как экологические аспекты водоемов, так и потребительские. В качестве объектов для сравнения могут выступать разные водоемы и отдельные места отдыха в пределах одного водоема.

Предметом рассмотрения методики являются показатели качества поверхностных вод (физические, бактериологические, гидробиологические и химические) как индикаторы экологического состояния анализируемых водоёмов и субъективные показатели пользователей (местонахождение, транспортная развязка, состояние берегов, наличие инфраструктуры для отдыха).

Задачи метода: обеспечить анализ состояния вод исследуемого водного объекта на основе комплекса показателей; осуществить оценку качества поверхностных вод анализируемых водоёмов г. Алчевска и Перевальского района, используемых в рекреационных целях.

Разработана шкала классов качества воды — характеристики интегральной оценки воды в зависимости от степени загрязненности водоемов и субъективных предпочтений населения (табл.3).

Таблица 3 Классы качества оценки и их характеристика.

Класс качества	Оценка качества воды	Оценка удобства и безопасности
----------------	----------------------	--------------------------------

воды		
I (0-0,99)	Отличное, желаемое качество воды	Водоем рядом, берег и дно ухоженное, инфраструктура по берегу
II (1-1,99)	Хорошее, приемлемое качество воды	Водоем недалеко, можно легко добраться, берег и дно ухоженное и безопасное, магазины в пешей доступности
III (2-2,99)	Удовлетворительное, приемлемое качество воды	К водоему можно добраться только на транспорте, берег официально не убирается, но силами отдыхающих там чисто и безопасно, магазины далековато
IV (3-3,99)	Посредственное, нежелательное качество воды	С транспортом сложно, дороги в плохом состоянии, пляжи дикие, дно опасное, магазинов нет
V (свыше 4)	Очень плохое	Водоем далеко от цивилизации, транспортом к пляжу не подъедешь, мест для отдыха нет, дно опасное

Комплексная оценка водоемов как объектов рекреации является средним значением оценочных блоков. Общая схема методики представлена на рисунке 5



Рисунок 5 - Методика комплексной оценки водоемов как объектов рекреации.

Для выбранных водоемов рассчитан рекреационный потенциал по формуле (1):

$$R = \frac{d \cdot L}{S_{\min}}, \quad (1)$$

где R– рекреационный потенциал водоема (тыс. чел.), L – длина береговой линии (м), d– ширина береговой полосы водоемов общего пользования (м), S_{\min} – минимальная площадь береговой зоны пресноводных водоемов на 1 человека (m^2), регулируется ГОСТом Р 55698-2013. Значение рекреационного потенциала R водоема в каждом конкретном случае корректируется с учетом доступности береговой зоны для целей рекреации.

Интегрированные оценки «Качество воды» и «Удобство и безопасность отдыха», а также значения рассчитанного рекреационного потенциала внесены в таблицу 4.

Таблица 4 Результаты оценивания водоемов по двум блокам и рекреационный потенциал водоемов.

Водоемы	Качество воды (W)	Удобство и безопасность отдыха (U)	Рекреационный потенциал водоема (% населения региона)
Пруд Ящиковский	2,90	3,40	3,5
Верхне-Орловское водохранилище	4,02	3,57	4,4
Нижне-Орловское водохранилище	3,17	3,47	4,0
Исаковское водохранилище	3,88	2,10	14,7
Пруд «20»	3,63	3,40	0,6
Пруд «Долгий»	1,96	3,90	0,2
Пруд пгт Ящиково	3,15	3,77	0,4
Пруд «Новоселовка»	1,38	4,37	1,0

По результатам опроса населения и проведенных исследований качества воды можно сделать следующие обобщения:

- Несмотря на ограниченное количество водоемов, пригодных для рекреации, органами управления республики не уделяется внимание охране водоемов и созданию условий для безопасного и комфортного отдыха населения.
- При выборе места отдыха человек в первую очередь выбирает комфорт (возможность легко и быстро добраться, комфортно разместиться, весело и безопасно отдохнуть и без труда вернуться домой).
- В настоящее время в ЛНР мало водоемов, которые отвечают всем требованиям, предъявляемым к местам отдыха.
- Отдыхающие обращают внимание на качество воды только тогда, когда оценка переваливает за «посредственную» и даже «очень плохую», когда на подходе к водоему ощущается неприятный запах, зеркало водоема покрыто взвесью и водорослями. Качество воды водоемов зависит от интенсивности их использования человеком (как места отдыха, как источника технической воды, как места сброса сточных вод для развлечения).

Для оценки качества воды по расчетным индексам выбраны ИЗВ, индекс сапробности (по фитопланктону) и индекс самоочищения (по ОМЧ). Для удобства сравнения шкала качества воды по разным индексам приведена к общей форме в таблице 5.

Таблица 5 Классы качества воды по расчетным индексам.

Класс качества	Качество воды	ИЗВ	Индекс сапробности	Индекс самоочищения
1	Очень чистые	< 0,2	0-0,5	$\geq 4,0$
2	Чистые	0,2-1,0	0,51-1,5	3,0-3,99
3	Умеренно загрязненные	1,0-2,0	1,51-2,0	2,5-2,99
4	Загрязненные	2,0-4,0	2,01-2,5	2,0-2,49
5	Грязные	4,0-6,0	2,51-3,5	1,5-1,99
6	Очень грязные	6,0-10,0	3,51-4,0	1,0-1,49
7	Чрезвычайно грязные	>10,0	> 4,0	0-0,99

Согласно расчетным индексам изменение качества воды носит сезонный характер. На графике 6 отражены полученные результаты индексов качества воды.

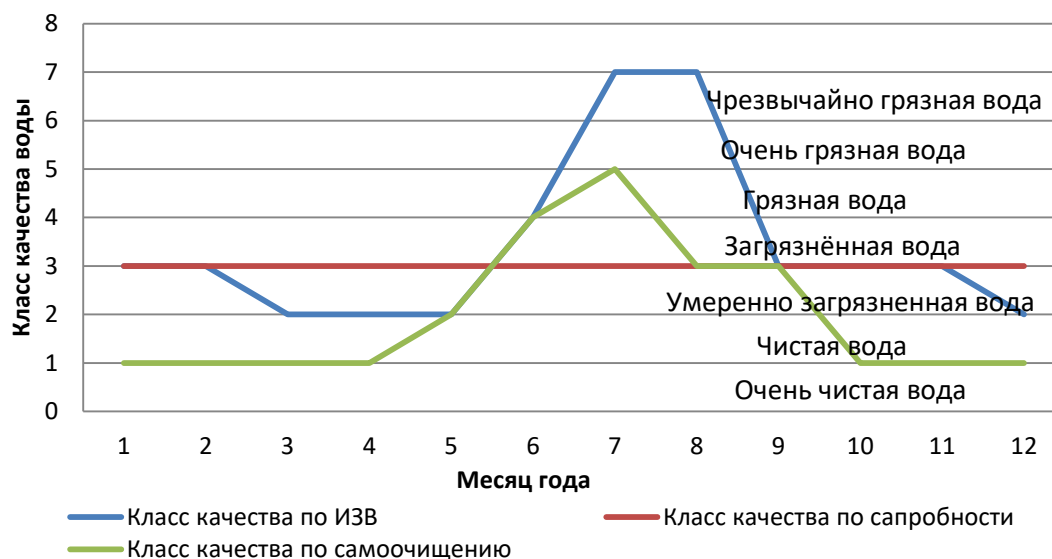


Рисунок 6 — Динамика изменения значений индексов качества воды

В летний период качество воды изменяется от умеренно загрязненной (3 класс) до грязной (5 класс) и чрезвычайно грязной (7 класс), что связано с повышением температуры воды и, соответственно, скоростью разложения и окисления органических веществ в водоеме. Нагрузка на водоем в летний период весьма существенна. Уровень содержания растворенного кислорода (основная составляющая самоочищения) близится к 0. Биоценоз водоема справляется с летней нагрузкой на водохранилище, что подтверждается стабильным состоянием фитопланктона (индекс сапробности не меняется).

Комплексный подход к геоэкологической оценке водоемов многоцелевого использования решает несколько задач:

1. Определение основных направлений использования водоема и основных критериев, согласно которым следует осуществлять геоэкологическую оценку.

2. Определение безопасного объема забора воды, а соответственно, приоритетных направлений снабжения водными ресурсами в кризисных ситуациях.

3. Выявление основных параметров, определяющих пригодность водных объектов, закономерности изменения качества воды и основные источники загрязнения.

Результат комплексной геоэкологической оценки Исаковского водохранилища представлен в таблице 6.

Таблица 6 Геоэкологическая оценка Исаковского водохранилища как водоема многоцелевого использования.

Наименование водного объекта	Исаковское водохранилище				
Основные направления использования	Сырье для производства питьевой воды;	Техническая вода для металлургического производства;	Техническая вода для тепловых сетей;	Вода для коммунально-бытового снабжения садовых обществ;	Объект рекреации (туризм, купание, спорт, рыбалка)
Безопасные объемы извлечения водных ресурсов.	Полезный объем водохранилища составляет от 19700 тыс.м ³ в сутки(заполнение 100%). Рациональное использование водохранилища предполагает баланс между притоком и забором воды. Приток составляет от 40 до 100 тыс. м ³ в сутки. Забор не больше притока.				
Нормативный документ регламентирующий требования к водным ресурсам	ДСТУ 4808-2007, СанПиН 1.2.3685-21	Требования к воде для конкретных цехов	Требования к тепловым агрегатам	СанПиН 1.2.3685-21, СанПиН 2.1.7.573-96	СанПиН 1.2.3685-21
Перечень показателей и критериев качества воды, применимых для оценки качества воды при определенном виде водопользования или по отдельным показателям	Органолептические, общесанитарные, гидробиологические, микробиологические, токсикологические (органические и неорганические показатели)	pH, взвешенные вещества, общая жесткость, сухой остаток, сульфаты	pH, взвешенные вещества, общая жесткость, сухой остаток, сульфаты, растворенный кислород(РК)	ЛКП, колифаги, запах, pH, растворенный кислород, БПК ₅ , сухой остаток, общая жесткость, сульфаты.	ЛКП, колифаги, запах, pH, растворенный кислород, БПК ₅ , сухой остаток, общая жесткость, сульфаты.
Отклонения	Круглый год				
Теплое время	Микробиологические показатели, ортофосфаты, РК, БПК ₅ , запах, цветность	фитопланктон, взвешенные вещества	фитопланктон, взвешенные вещества	РК, БПК ₅ , запах, микробиологические показатели	РК, БПК ₅ , запах, микробиологические показатели
Холодное время			РК		
По расчетным индексам	ИЗВ	Индекс сапробности		Индекс самоочищения	
Класс качества воды в теплое время	3-7	3		3-5	
Характеристика воды	загрязненная – чрезвычайно грязная	умеренно загрязнённая		Умеренно загрязнённая - грязная	
Класс качества воды в холодное время	1-2	3		1-2	
Характеристика воды	очень чистая -чистая	умеренно-загрязненная		очень чистая - чистая	

В четвертой главе содержится статистический подход, разработанный для оценки моделирования и прогнозирования динамических рядов показателей качества воды водоемов ЛНР в целом.

Используя данный подход, выполнен анализ 9 показателей, имеющих отклонения от нормы, в воде Исаковского водохранилища.

На рисунке 7 представлена схема статистического подхода к оценке динамических рядов.



Рисунок 7 — Статистический подход к исследованию динамических данных показателей качества воды.

РК показатель, имеющий существенное значение для самоочищения водоема, кроме этого, является самостоятельным критерием качества воды. При исследовании выборки данных содержания РК выявлены сезонная (рис. 8) и суточная (рис. 9) цикличность изменения, что связано с изменениями температуры воды, освещенностью и процессами жизнедеятельности гидробионтов, потребляющих и выделяющих кислород.

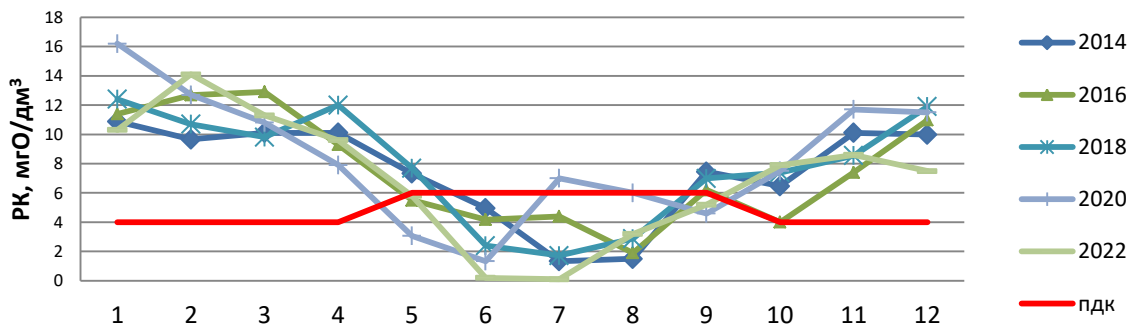


Рисунок 8 — Динамика изменения содержания РК за 2014-2022 г.

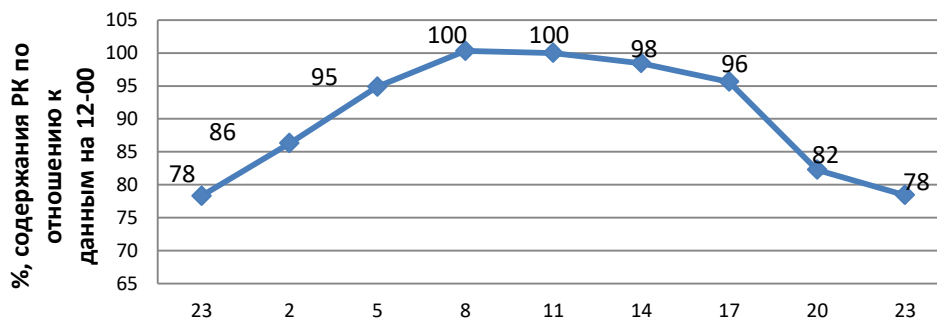


Рисунок 9 — Динамика изменения содержания РК в течение суток

По методике определения, содержание РК до 12 часов дня не должно быть ниже ПДК. Следовательно, принимаем значение показателя в 12.00 за 100%, изменения в течение суток также выражены в % относительно значения 12 часов.

С глубиной наблюдается снижение содержания РК (рис.10). В летний период кислородное голодание наступает уже на глубине 7-9м. Максимальная глубина Исаковского водохранилища - 18м.

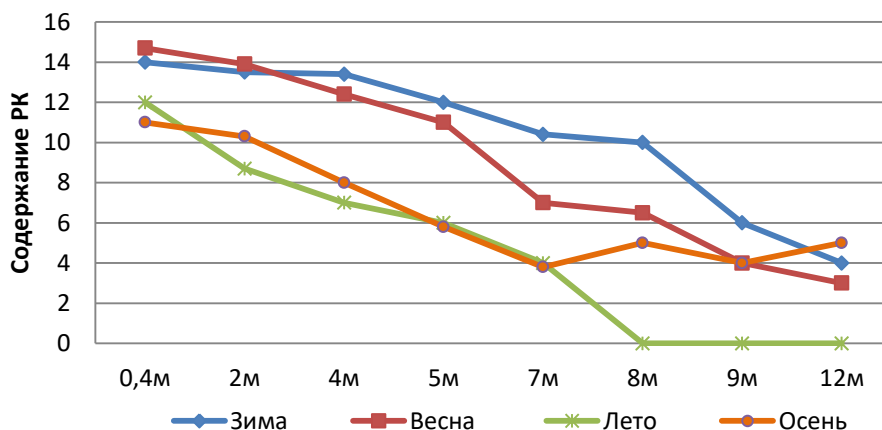


Рисунок 10 — Содержание растворенного кислорода на разных глубинах в течение года (по сезонам)

Временной ряд данных РК исследовался с использованием метода сезонной декомпозиции.

Получено уравнение зависимости РК от времени, имеющее вид:

$$X_{PK}' = T(0,016 \cdot t + 6,6844) + E + S.$$

Для определения факторов из составленного массива, оказывающих влияние на исследуемый показатель содержания растворенного кислорода, составлена корреляционная матрица.

Согласно значимым коэффициентам парной корреляции влияние на показатель Y_{PK} оказывают следующие показатели:

- X7; X8; X10; X11; X13; X14; X15; X26 — положительное;
- X3; X4; X17; X24; X25; X27; X28; X30 — отрицательное.

В таблице 7 представлены уравнения множественной регрессии, пригодные для определения РК.

Таблица 7 Модели множественной регрессии Y_{PK}

Уравнение модели	Число переменных	R ²	r	СКО	Ошибки 1-го рода	Ошибки 2-го рода
$Y_{33} = -45,28 - 0,12702 \cdot X_1 - 0,2378 \cdot X_3 - 0,01041 \cdot X_4 + 7,909641 \cdot X_7 + 1,505101 \cdot X_8 - 0,00029 \cdot X_{13} - 0,02112 \cdot X_{15} + 0,03368 \cdot X_{17} - 0,27408 \cdot X_{20} - 0,00722 \cdot X_{24} - 0,00166 \cdot X_{25} + 0,0000192 \cdot X_{27} - 0,0000096 \cdot X_{31} - 0,000056 \cdot X_{32}$	14	0,80	0,89	1,864	5 или 4,63%	1 или 0,93%
$Y_{33} = -59,6577 - 0,25495 \cdot X_3 + 7,956968 \cdot X_7 + 1,388174 \cdot X_8 - 0,01643 \cdot X_{15} + 0,017018 \cdot X_{17} - 0,27149 \cdot X_{20} - 0,00741 \cdot X_{24} - 0,00161 \cdot X_{25} + 2,11E-05 \cdot X_{27}$	9	0,79	0,89	1,821	6 или 5,56%	1 или 0,93%
$Y_{33} = -60,1722 - 0,24146 \cdot X_3 + 7,93982 \cdot X_7 + 1,407342 \cdot X_8 - 0,0121 \cdot X_{15} + 0,008675 \cdot X_{17} - 0,00931 \cdot X_{24}$	6	0,79	0,89	1,82	6 или 5,56%	1 или 0,93%
$Y_{33} = -58,3626 - 0,024065 \cdot X_3 + 7,725053 \cdot X_7 + 1,2295 \cdot X_8 - 0,00957 \cdot X_4$	4	0,79	0,89	1,81	6 или 5,56%	1 или 0,93%

В качестве данных для проверки прогноза выступают данные содержания компоненты в 2023 году (январь, февраль и март). В таблицу 8 занесены фактические значения показателя и смоделированные.

Таблица 8 Прогноз значений показателя на основе построенных моделей

№	X33	Y33 (M1)	Y33 (M2)	Y33 (M3)	Y33 (M4)	X33(сезонная)
1	2	3	4	5	6	7
1	13,2	13,61	11,53	11,29	10,12	12,7
2	11,1	12,80	11,64	11,40	11,24	12
3	12,7	13,70	11,88	11,65	11,77	12,6
ε		15,65	5,37	4,57	7,71	8,12
Точность модели	удовлетворительная	хорошая	хорошая	высокая	хорошая	Хорошая

Полученные модели содержания РК имеют большую точность и могут использоваться для прогнозирования содержания РК в определенный период года. Выбор модели зависит от наличия значений тех или иных показателей. Найденные уравнения фиксируют снижение уровня ниже ПДК, но чем меньше содержание РК, тем больше погрешность прогноза.

Аналогичным образом выполнен корреляционный анализ взаимосвязи 31 показателя качества воды Исаковского водохранилища.

Показателями, влияющими на пригодность воды для основных водопользователей, являются: РК, БПК, сухой остаток, сульфаты, общая жесткость, взвешенные вещества, рН, ЛКП. В работе детально исследованы массивы перечисленных показателей. Результаты исследования сезонности изменений представлены в таблице 9.

Таблица 9 Результаты исследования временных рядов показателей методом сезонной декомпозиции.

№	Показатель	Диапазон значений мин-макс/ПДК	Составляющие /Период	T (тренд)	S (сез. комп.)	Уравнение аддитивной модели	R ²
1	РК, мг/дм ³	0-14,3; ПДК=6	X=T+S+E; 12 мес.	Т _{рк} =(0,016·t + 6,6844)	от-4,99 до 4,02	X _{рк} '=T(0,016·t + 6,6844) +E+S.	0,1226
2	БПК, мг/дм ³	0,1-7,8; ПДК=3	X=T+S+E;	T _{бпк} =0,168ln(t) +3,0782	от-1 до 1,78	X _{бпк} =0,168ln(t) +3,0782+S+E	0,0225
3	Сухой остаток, мг/дм ³	970-1502 ПДК =1000	X=T+S+E; 12 мес.	T _{сух.ост} =1190+1,356·t	от-81,26 до 83,24	X _{сух.ост} =1190+1,356·t+S+E	0,103
4	Сульфаты, мг/дм ³	368-696; ПДК =500	X=T+S+E; 12 мес.	T _{сульфаты} =0,604·t+549,5	От-55 до 39	X _{сульфаты} =0,604·t+549,5+S+E	0,081
5	Общая жесткость, мг/дм ³	6,27-9,24; ПДК =7	X=T+S+E; 12 мес.	T _{общ.жест} = 8,6437·t ^{-0,012}	От -0,803 до 0,49	X _{общ.жест} = 8,6437·t ^{-0,012} +S+E	0,0382
6	рН, ед.рН	7,40-8,56; Норма 6,5-8,5	X=T+S+E; 12 мес.	T _{рн} = 8E-05t ² - 0,0084t + 8,247	от -0,25 до 0,18	X _{рн} = 8E-05t ² - 0,0084t + 8,247+E+S	0,1894
7	ЛКП, КОЕ/дм ³	60-70000 ПДК 1000	X=T+S+E; 12 мес.	T _{лкп} = 142,33t - 1681,3	от -5604 до 8815	X _{лкп} = 142,33t - 1681,3+S+E	0,1393
8	Сероводород, мг/дм ³	0-3,41 Норма - отсутствие	X=T+S+E; 12 мес.	T _{сероводород} =0,002·t+0,145	От -0,050 до 0,157	X _{сероводород} = -0,002t + 0,145 +S+E	0,085

Для большинства компонентов, представленных в таблице и других исследованных, период составляет 12 месяцев. Значение сезонности носит незначительный характер для показателей минерализации воды. Значительные сезонные изменения присущи показателям, развитие которых зависит от температуры воды и скорости окислительных реакций.

Статистически установлено, что в летние месяцы в экосистеме Исаковского водохранилища самоочищение осуществляется на крайне низком уровне ввиду его высокого антропогенного загрязнения. Снижение уровня самоочищения в марте объясняется бурным развитием пиропитовых и диатомовых водорослей со значительной биомассой, которые, несмотря на выделение большого количества кислорода, снижают активность микроорганизмов по очищению водоема.

Также в работе найдены уравнения множественной регрессии для исследуемых показателей. Оптимальные уравнения внесены в таблицу 10.

Таблица 10 Результаты моделирования зависимости показателей качества воды.

№ п/п	Показатель	Прямая связь	Обратная	Уравнение	r	Сила связи
1	2	3	4	5	6	7
1	РК, мг/дм ³	X7; X8; X10; X11; X13; X14; X15; X26	X3; X4; X17; X24; X25; X27; X28; X30	Y ₃₃ =-60,1722 - 0,24146·X3 + 7,93982·X7 + 1,407342·X8 - 0,0121·X15 + 0,008675·X17 -0,00931·X24	0,89	Высокая
2	БПК, мг/дм ³	X3; X4; X5; X24; X25; X27; X29; X31	X23;X22	Y=4,610548+0,023024·X3+0,012475·X5+0,154126·X18-0,00285·X13-0,07334·X19 +1,33999·X20 - 0,30631·X22 -1,00913·X23 + 0,0000241·X27+0,0000308·X31	0,68	заметьная
3	Сухой остаток, мг/дм ³	X7; X8; X10; X11; X14; X15; X18;	X1; X3; X9; X22; X23	Y=14.819+60.795·X8 -1.842·X9 +32.57·X11 +1.3275·X14	0,88	Высокая

Продолжение таблицы 10						
1	2	3	4	5	6	7
4	Сульфаты, мг/дм ³	X7; X8; X10; X11; X13; X15; X18	X1; X3; X9; X16; X22	$Y=148.3049 -16.4086 \cdot X8 -0.83716 \cdot X9 +25.26286 \cdot X11 +2.72479 \cdot X15 -2087.42 \cdot X16 + 0.154001 \cdot X13$	0,91	Высокая
5	Общая жесткость, мг/дм ³	X5 X6; X7; X8; X9; X10; X13; X14; X15; X23; X33	X3; X16; X19; X29	$Y=-0.108134 + 0.13751 \cdot X7 + 0.0453524 \cdot X9 + 0.06025 \cdot X10 + 0.00726 \cdot X15$	0,93	Высокая
6	pH, ед.pH	X11; X13; X14; X15	X1; X3; X28; X33	$Y=7.2145+0.01378 \cdot X3 +1.0249 \cdot X12 +0.003086 \cdot X15 +0.0569 \cdot X33$	0,74	Высокая
7	ЛКП, КОЕ/дм ³	X3; X4; X17; X28; X13; X15; X18; X33	X1; X2; X9;	$Y=488955-4575.68 \cdot X1 +786.8695 \cdot X3 + 853.5743 \cdot X17 + 1.4888 \cdot X28 + 581.0736 \cdot X33$	0,63	Заметная
8	Сероводород, мг/дм ³	X9; X23; X30	X3; X10; X13; X14; X15; X19; X22; X23; X26; X33	$Y= - 0.00457 + 0.002811 \cdot X5 + 5.184184 \cdot X16 - 0.08377 \cdot X21 - 0.01832 \cdot X33$	0,3	слабая

Для основных промышленных потребителей водных ресурсов найденные уравнения множественной регрессии являются основой для прогнозирования необходимых мероприятий по рациональной водоподготовке и формированию запасов реагентов для водоподготовки. Суточные и сезонные колебания окислительно-восстановительного потенциала воды приводят к необходимости своевременно корректировать дозы окислителей при обработке воды.

Использование уравнений множественной регрессии для компонентов, которые проще определить, чем высчитать, нецелесообразно. Но есть случаи, когда это крайне необходимо. Примером является сероводород и РК. С помощью уравнений можно своевременно настроить систему очистки от сульфидов, сбросить донные отложения или же провести искусственную аэрацию толщи воды.

Фактическое использование результатов анализа массивов данных по качеству воды Исаковского водохранилища описано в пятой главе и является третьим научным результатом.

В пятой главе отражаются попытки решить вопрос повышения экологической безопасности использования открытых водоемов для водоснабжения промышленных предприятий и производства питьевой воды ЦВП ООО «ЮГМК».

Для исследования эффективности производства и поиска путей повышения экологической безопасности использования разработана «Методика для оценки эффективности работы предприятий по водоподготовке».

Методика оценки предприятий по водоочистке с целью повышения экологической безопасности производства представлена на рисунке 11.

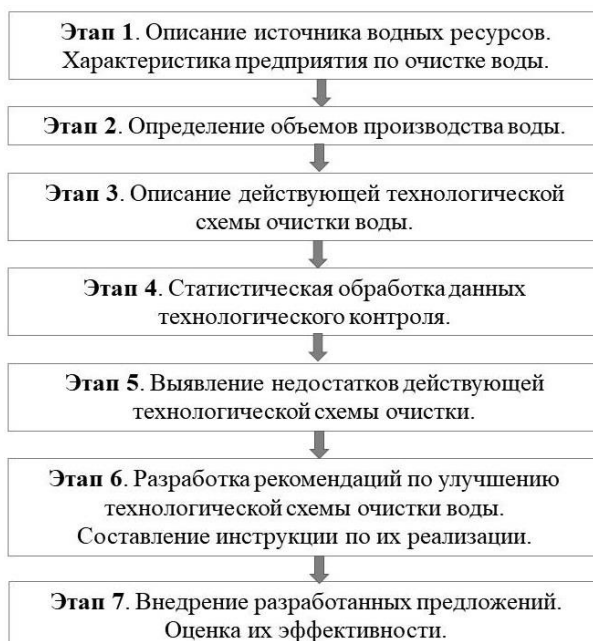


Рисунок 11 — Схема этапов оценки эффективности работы предприятия по водоочистке

Поверхностным источником для производства питьевой воды в регионе является Исаковское водохранилище. Обслуживанием гидроузлов и очисткой воды вышеупомянутого источника занимается цех водоподготовки ООО «ЮГМК». Согласно рекомендациям ДСТУ4808-2007 для использования воды водохранилища необходимы технологии для очистки воды, обладающие обеззараживающими свойствами и способные существенно снизить солесодержание воды.

Производство воды на предприятии осуществляется по технологии деминерализации исходной воды с использованием баромембранных (нанофильтрационных) машин и обеззараживания воды гипохлоритом натрия и ультрафиолетовым излучением.

Схема технологии очистки воды представлена на рисунке 12.

ООО «ЮГМК» круглосуточно осуществляет забор воды из Исаковского водохранилища для технических нужд промышленности и теплоснабжения города, коммунально-бытовых нужд дачных сообществ и производства питьевой воды.

Объемы забора воды меняются в зависимости от природного пополнения водохранилища. В случае снижения уровня воды в водохранилище сокращается забор воды на технические нужды. Приток воды из реки Белая варьируется от 40 до 100 тыс. м³ в сутки.

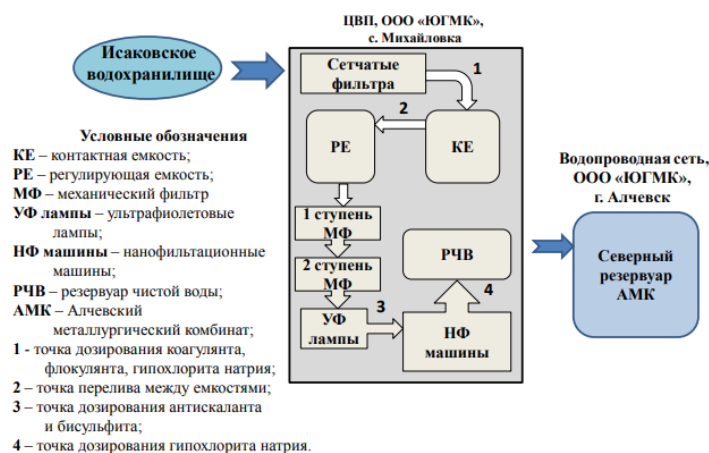


Рисунок 12 — Схема очистки воды в ЦВП ООО «ЮГМК»

При подготовке массивов и первичной статистической обработке результатов исследований проб исходной воды и данных технологического контроля за 2014-2019 годы, результатов jar-test подбора реагентов были выявлены следующие **недостатки** действующей схемы подготовки:

1. При одномоментном впрыске коагулянта, флокулянта и гипохлорита натрия в т. 1 увеличивается расход окислителя. Снижение расхода хлора возможно при разделении точек впрыска гипохлорита натрия и коагулянта с флокулянтом.

2. При ориентировании на результаты предыдущих исследований проб по технологическим точкам не учитываются суточные колебания ХП, связанные с колебаниями окислительно-восстановительных процессов в воде водохранилища. Обслуживающий персонал в состоянии определить только результат хлорирования. При этом задержка оперативных переключений может составить 2-4 часа. Необходимо выявить статистические зависимости ХП от показателей качества воды, которые легко и оперативно определяются в течение нескольких минут.

3. При дозировании бисульфита не учитывается фактическое содержание остаточного хлора в воде после второй ступени. Это приводит к переизбытку бисульфита в случае низкого содержания активного хлора, либо же нехватке в случае чрезмерного дозирования гипохлорита натрия на первом этапе.

Разработка рекомендаций. Основное внимание при исследовании направлено на окислительный процесс в КЕ и РЕ. В водоеме сильным природным окислителем является растворенный кислород. При очистке воды используется гипохлорит натрия. Активный хлор является искусственным окислителем воды Исаковского водохранилища, которая поступает в ЦВП на очистку.

На рисунке 13 представлена связь между ХП и содержанием РК. Чем меньше РК содержится в воде, тем больше будет ХП. Также это предположение подтверждается на рисунке 14

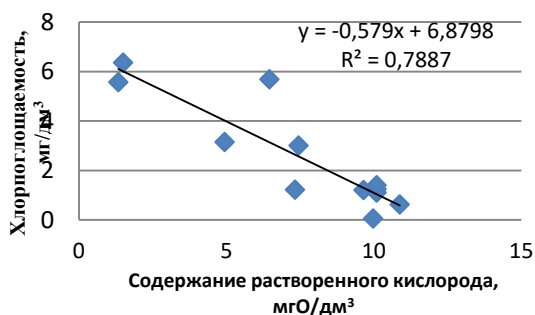


Рисунок 13 — Зависимость ХП от РК при водоподготовке 2014 г.

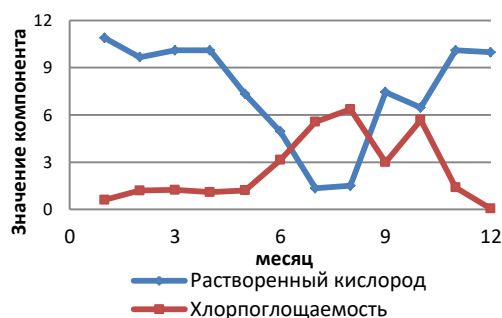


Рисунок 14 — Значения ХП и РК в течение 2014 года

Хлорпоглощаемость (ХП) — количество активного хлора, которое поглощается при окислении органических и минеральных веществ при водоподготовке и обеззараживании МО.

По результатам jar-тестов, регулярно проводимых по сезонам для подбора эффективной дозы коагулянтов и флокулянтов, выявлено следующее:

Суть jar-теста. В химические стаканы объемом 1 дм³ с исходной водой дозируется коагулянт (одной концентрации), флокулянт (разных концентраций) и гипохлорит натрия (такое количество, чтобы после экспозиции оставалось 0,8-1,2 мг/дм³ активного хлора). Пример результата представлен в таблице 11

Таблица 11 Сводная таблица результатов jar-теста 5.01.2019

1. Начало теста , параметры исходной воды		2. Дозирование реагентов в исходную воду, мг/дм ³				3. Промежуточные результаты после 30 мин перемешивания				4. Конечные результаты тестирования после отстаивания 30 мин.					
Цветность, град цветн	31	Коагулянт АТЕ 1102Р 1,2				Цветность, град цветн	13	13	13	13	Цветность, град цветн	13	11	11	11
Мутность, град мутн.	1,15	Флокулянт АТЕ 890 0,1 0,2 0,3 0,5				Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,1	Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,08
Остат. хлор, мг/дм ³	-	Гипохлорит натрия 3,4				Остаточный хлор	2	2	2	2	Остат. хлор, мг/дм ³	0,75	0,78	0,78	0,82
ХП, мг/дм ³		-				ХП, мг/дм ³	1,4				ХП, мг/дм ³	1,25	1,22	1,22	1,18

Суммарное ХП в пробе составляет 2,58-2,65мг/дм³ активного хлора в зимний период.

При повторном проведении теста гипохлорит натрия дозировался уже после 30 мин перемешивания (табл 12).

Таблица 12 Сводная таблица результатов jar-теста 5.01.2019 с отдельным дозированием реагентов

1. Начало теста , параметры исходной воды		2. Дозирование реагентов в исходную воду, мг/дм ³				3. Промежуточные результаты после 30 мин перемешивания				4. Конечные результаты тестирования после отстаивания 30 мин.					
Цветность, град цветн	31	Коагулянт АТЕ 1102Р 1,2				Цветность, град цветн	13	13	13	13	Цветность, град цветн	13	11	11	11
Мутность, град мутн.	1,15	Флокулянт АТЕ 890 0,1 0,2 0,3 0,5				Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,1	Мутность, град мутн.	0,15	0,15	0,1	0,08
Остат. хлор, мг/дм ³	-	Гипохлорит натрия -				Дозирование гипохлорита натрия	3	3	3	3	Остат. хлор, мг/дм ³	1	1,05	1,05	1,15
ХП, мг/дм ³		-				ХП, мг/дм ³					ХП, мг/дм ³	2	1,95	1,95	1,85

Суммарное ХП в пробе воды составило 1,85-2,0 мг/дм³ воды. Разница составляет почти 25% в зимний период.

В летний период, когда ХП на производстве варьируется от 3 до 6 мг/дм³, экономия может составлять 25-30 %.

Считаю целесообразным разделить точки дозирования реагентов в цехе водоподготовки: т.1 - коагулянт и флокулянт; т.2 - гипохлорит натрия в точку перелива (рис.12). Временной интервал между ними составляет 45 мин-1 час, что позволит в КЕ сгруппировать взвешенные вещества исходной воды в инертные флокулы, на которые не будет расходоваться активный хлор.

Значение ХП в течение года изменяется по сезонам. Остаточный активный хлор является искусственным окислителем для загрязняющих веществ исходной воды. В природных условиях эту функцию выполняет РК.

ХП в течение года варьируется от 0,95 до 6,36 мг/дм³. Период составляет 12 месяцев (рис.15).

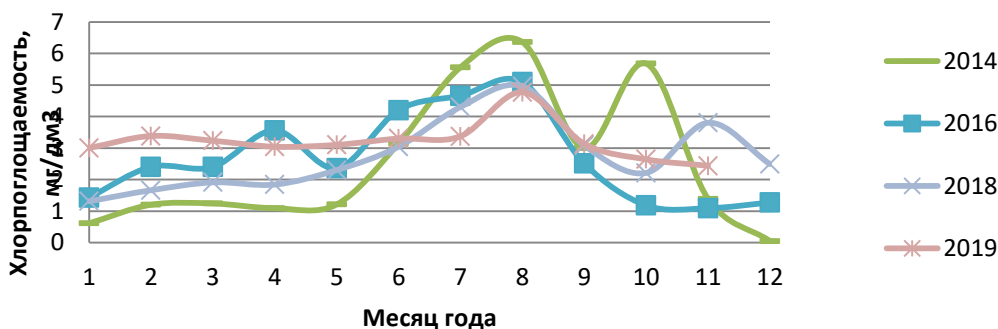


Рисунок 15 — Динамика изменения ХП 0 за 2014-2019 гг.

Методом сезонной декомпозиции составлено уравнение $Y_{ХП} = 2,2324e^{0,0012t} + S + E$. Сезонная компонента варьируется с -0,93 до 1,4 мг/дм³; $r=0.121$ (слабая связь).

Согласно корреляционной матрице на ХП влияют показатели качества исходной воды:

- X3, X5, X6, X16, X17, X18, X21, X24, X25, X27, X29, X30, X31 — положительно;
- X7, X10, X11, X13, X14, X22, X33 — отрицательно.

Для практического применения необходимо составить уравнение с переменными, определение которых занимает минимум времени, или же их определение может осуществляться в автоматическом режиме.

В холодное время года целесообразно пользоваться уравнением 1:

$$Y_{ХП} = 16,61109 + 0,073958 X3 + 0,026162 \cdot X5 - 2,00865 \cdot X7 \quad (1)$$

Для определения X3 (температура воды), X5 (цветность), и X7 (pH) требуется менее 15 мин, благодаря чему существует возможность автоматизировать определение перечисленных показателей и вычисление необходимой дозы.

В июле-сентябре следует использовать уравнение 2:

$$Y = 16.2186 + 0.051678 \cdot X3 + 0.022541 \cdot X5 - 1.93269 \cdot X7 + 0.637067 \cdot X20 \quad (2)$$

Оба уравнения имеют коэффициент детерминации выше 0,7, что показывает высокую силу связи между компонентами.

Таким образом, зная цветность, температуру воды, ее pH и содержание сероводорода, можно прогнозировать хлорпоглощение исходной воды.

При прогнозировании дозирования хлора следует учитывать как сезонные, так и суточные колебания ХП.

На рисунке 16 представлена динамика изменения ХП и РК в течение суток, относительно показания в 12 часов дня. Изменчивость ХП в течение суток составляет 20-25%, РК — 15-25%. В период с 21 часа до 5 часов утра наблюдается повышение ХП, что следует регулировать повышением дозы гипохлорита натрия.

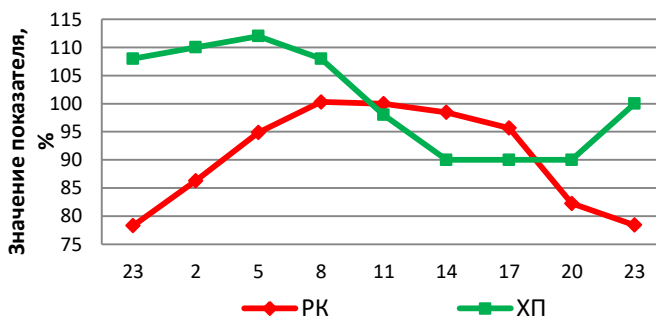


Рисунок 15 — Динамика изменения ХП и РК в течение суток

При реализации в цехе водоподготовки рассмотренных выше предложений достигается следующий экономический и экологический эффекты:

1. Разделение точек дозирования реагентов приведет к снижению ХП, соответственно к снижению расхода гипохлорита натрия до 25%. Снижение вероятности образования хлороформа и хлораминов в питьевой воде.
2. Использование уравнений позволит точнее подбирать дозу гипохлорита натрия, чем исключит периоды с дефицитом или же избытком активного хлора по схеме водоочистки.
3. Учет суточных колебаний ХП минимизирует опасность недостатка дозы хлора в ночное время.
4. В целом, корректная доза хлора при водоподготовке обеспечит достаточную стерильность по этапам очистки.
5. Установка автоматических датчиков определения активного хлора позволит дозировать бисульфит корректно. Таким образом, не будет превышений сульфатов в обратноосмотических машинах и линиях байпаса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе решена задача построения системы показателей для геоэкологической оценки водоемов Луганской Народной Республики и сформирован подход к повышению экологической безопасности их использования.

2. Искусственные водоемы в ЛНР в основной массе созданы в южной части территории республики для нужд промышленности (запас технической воды), но в настоящее время используются также и по другим направлениям (рекреация, охлаждение, техническое и питьевое водоснабжение). Определение критических параметров качества воды водоема и ограничение его использования может снизить риск и нежелательные последствия для пользователей водоемом.

3. В целях проведения детального геоэкологического анализа отобранных водоемов ЛНР собрана база статистических данных, включающая показатели самоочищения воды, физико-биологические, микробиологические, гидробиологические показатели качества воды, метеорологические показатели, морфологические параметры водоемов, характеристики прилегающих к водным объектам территорий, информация по рекреационному использованию водохранилищ и (для Исаковского водохранилища) данные по объемам водозабора воды на различные нужды. Всего база данных включает - 38 показателей из них - 33 показателя (108 наблюдений) ежемесячно измеряемых и расчетных данных; 17 показателей (3225 наблюдений) ежедневно измеряемых данных.

4. Рассмотрена целесообразность и безопасность использования воды Исаковского водохранилища в качестве источника для производства питьевой воды, источника технической воды для коммунальных служб, металлургического производства и коммунально-бытовых нужд садовых обществ, в том числе для орошения. Проанализированы и выделены оптимальные методики для оценки водоемов по направлениям использования: техническое водоснабжение предприятий и садовых обществ, производство питьевой воды, занятия спортом и отдых на водоемах.

5. Разработана методика исследования водоемов как объектов для рекреации и отдыха на основе множества показателей качества воды и экспертных оценок рекреационных зон. Предложена система оценок водоемов рекреационного назначения, включающая блок индикаторов качества их вод (показатели самоочищения воды, физико-биологические, микробиологические, гидробиологические показатели), блок индикаторов удобства и безопасности отдыха, интегральные оценки по каждому блоку и комплексную оценку водоемов как объектов рекреации. Для интерпретации комплексной оценки водоемов рекреационного назначения введена матрица оценок с унифицированной шкалой градаций.

6. Выполнены исследования процессов загрязнения и самоочищения поверхностных вод на примере Исаковского водохранилища. Выявлены закономерности

динамики самоочищения водохранилища на основе статистического анализа концентраций растворенного в воде кислорода и оценки интенсивности самоочищения с помощью коэффициента самоочищения. Статистически установлено, что в летние месяцы в экосистеме Исаковского водохранилища самоочищение осуществляется на крайне низком уровне ввиду его высокого антропогенного загрязнения. Снижение уровня самоочищения в марте объясняется бурным развитием пиропитовых и диатомовых водорослей со значительной биомассой, которые, несмотря на выделение большого количества кислорода, снижают активность микроорганизмов по очищению водоема.

7. Разработаны математические модели динамики изменения показателей качества поверхностных вод водоемов, основанные на методах автокорреляционного анализа и сезонной декомпозиции. Для показателей Исаковского водохранилища построены уравнения аддитивных моделей показателей, содержащие тренды и сезонные компоненты. Установлено, что концентрация растворенного кислорода и биохимическое потребление кислорода описываются адекватными статистическими моделями с 12-месячной цикличностью и возрастающим трендом для растворенного кислорода.

8. Выполнен корреляционный анализ взаимосвязи 31 показателя качества воды Исаковского водохранилища, установлены значимые связи, отобраны группы независимых друг от друга показателей для построения регрессионных зависимостей. Для растворенного кислорода выявлено падение концентраций с глубиной, особенно данная тенденция заметна для летнего периода. Исследован суточный ход изменения содержания растворенного кислорода.

9. Разработаны математические регрессионные модели множественной линейной регрессии зависимостей концентрации растворенного кислорода и биохимического потребления воды от физико-химических, микробиологических и гидробиологических показателей качества воды.

10. Установлены математические зависимости технологических показателей при производстве воды из поверхностных вод водохранилища от показателей качества исходной воды, забираемой из водоема, а также климатических, геоморфологических и прочих показателей, характеризующих условия использования поверхностных вод водоема.

11. Для повышения экологической безопасности использования водных объектов сформирован и обоснован подход к корректировке технологических схем очистки воды при производстве питьевой воды из поверхностных источников, основанных на окислительных методах.

12. Существующая технология очистки воды Исаковского водохранилища ООО «ЮГМК» обеспечивает производство воды требуемого качества, однако имеются проблемы, связанные с экологической безопасностью. Применение предложенной в работе методики, основанной на корректировке технологических схем очистки воды, принесет экологический и экономический эффект.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Бакуменко, Ю. С. Методика оценки рекреационного потенциала водоемов / Ю. С. Бакуменко, Л. Е. Подлипенская, М. Б. Шилин // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 2. – С. 13-20. – DOI 10.24412/1816-1863-2023-2-13-20. – EDN BUUART.
2. Бакуменко, Ю. С. Статистический подход к оценке динамических изменений качества воды / Ю. С. Бакуменко, М. Б. Шилин // Естественные и технические науки. – 2023. – № 9(184). – С. 59-66. – EDN XHDWDI.
3. Подлипенская, Л. Е., ГИС-проект рекреационных водных ресурсов Луганской Народной Республики / Л. Е. Подлипенская, В. С. Федорова, Ю. С. Бакуменко – Текст : непосредственный // Экология урбанизированных территорий. – 2024. – № 2. – С. 72-82. – DOI 10.24412/1816-1863-2024-2-72-82. – EDN FXESRO

Публикации в журнале индексируемом Scopus

1. Бакуменко Ю. С., Hydrochemical dynamics of the Isakovskiy /Ю. С. Бакуменко, Е. Г. Ларина, О.М. Розенталь//В сборнике: International Scientific and Practical Conference “From Modernization to Rapid Development: Ensuring Competitiveness and Scientific Leadership of the Agro-Industrial Complex” (IDSISA 2024). Les Ulis, 2024. С. 14001.

Другие публикации

1. Бакуменко, Ю. С., Геоэкологическая оценка водоемов ЛНР с учетом фактического использования //Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов по материалам всероссийской научно практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (15-17 февраля 2024 г.). — Антрацит: АИГиТ (филиал) "ЛГУ им. В. Даля" , 2024. — 259с.
2. Бакуменко, Ю. С., Зависимость хлорпоглощения воды при водоподготовке от качества исходной воды и сезона года / Ю.С. Бакуменко// Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.). – Том 2: Физические, химические, технические и компьютерные науки. Часть 1 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2024. – С. 25-27
3. Бакуменко, Ю. С., Оценка качества вод Исаковского водохранилища как альтернативного источника водоснабжения населения / Ю. С. Бакуменко, Л. Е. Подлипенская // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 4-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 22–25 мая 2018 года. Том 4. — Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2018. — 220с.
4. Бакуменко, Ю. С. Современное состояние и тенденции изменения качества поверхностных вод Исаковского водохранилища/магистерская работа — Алчевск.: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019—91с.
5. Бакуменко, Ю. С., Подлипенская, Л. Е. Исследование процессов самоочищения водоемов // Планета – наш дом: Сб. материалов XII Междунар. молодёжной научной конференции / Под общ. ред. В. А. Козачишена. — Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — 142с.
6. Бакуменко, Ю. С. Методика оценки рекреационного потенциала водоемов / Ю. С. Бакуменко, Л. Е. Подлипенская, М. Б. Шилин // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 2. – С. 13-20. – DOI 10.24412/1816-1863-2023-2-13-20. – EDN BUUART.
7. Бакуменко, Ю.С., Подлипенская, Л. Е. Оценка качества поверхностных вод водоемов по индексу сапробности //Планета – наш дом: Сб. материалов XIII Междунар.

молодёжной научной конференции / Под общ.ред. В. А. Козачишена —Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. —130с.

8. Бакуменко, Ю. С. Статистический подход к оценке динамических изменений качества воды / Ю. С. Бакуменко, М. Б. Шилин // Естественные и технические науки. – 2023. – № 9(184). – С. 59-66. – EDN XHWDWI.

9. Бакуменко, Ю. С., Статистический анализ показателей качества вод Исаковского водохранилища как источника технической и питьевой воды //Актуальные проблемы социально-экономического и экологического развития промышленного региона: сборник материалов IV международной научно-практической конференции (19 мая 2022 г.). — Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. — 75с.

10. Бакуменко, Ю. С. Хлорпоглощаемость как первичный показатель качества исходной воды при водоподготовке//Планета – наш дом: Сборник материалов XIV Международной молодёжной научной конференции / Под общ.ред. В. А. Козачишена — Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. — 104 с.

11. Бакуменко, Ю. С. Построение статистических моделей показателей качества поверхностных вод / Ю. С. Бакуменко, Л. Е. Подлипенская // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации : Сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции, Алчевск, 13–14 октября 2022 года. Том Часть 2. — Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022.1. — 100с.

12. Подлипенская Л. Е., Оценка экологического состояния Исаковского водохранилища в современных условиях / Л. Е. Подлипенская, Ю. С. Бакуменко // Экологический мониторинг и биоразнообразие: Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Ишим, 25–26 декабря 2018 года / Отв. ред. А.Ю. Левых. – Ишим: Изд-во ИПИ им. П.П. Ершова (филиала) ТюмГУ, 2018. – С. 34-38.

13. Подлипенская, Л. Е., Исследование процессов эвтрофикации и самоочищения водоемов / Л. Е. Подлипенская, Ю. С. Бакуменко // Экологический вестник Донбасса. – 2021. – № 1. – С. 10-18.

14. Федорова, В. С. Оценка качества поверхностных вод водоёмов как объектов рекреации / В. С. Федорова, Ю. С. Бакуменко // Экологический вестник Донбасса. – 2021. – № 2. – С. 17-27.

Рисунок А1 Разрез Исаковского водохранилища

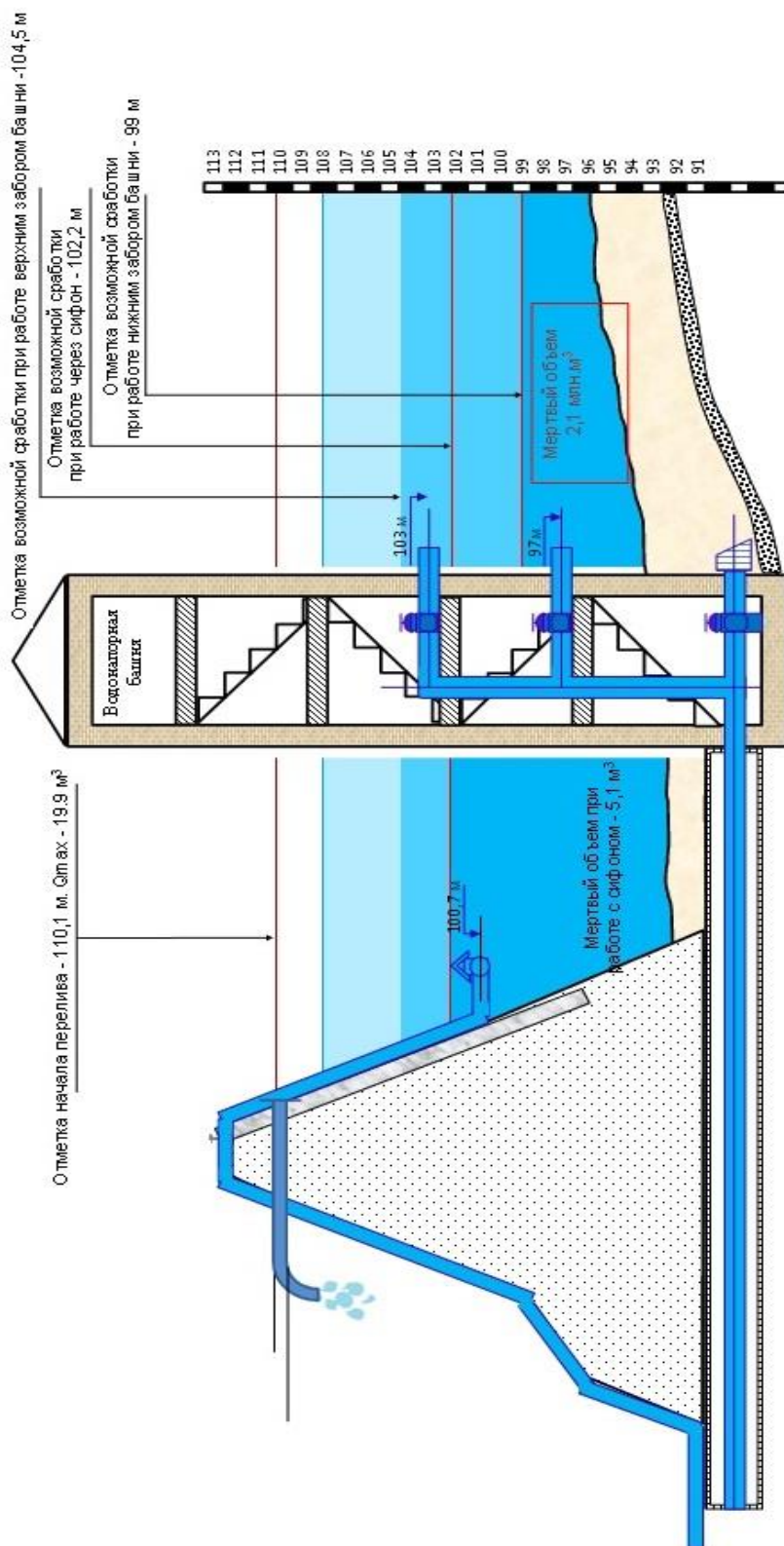


Рисунок А1 — Разрез Исаковского водохранилища

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

КАРТА СХЕМА ИСАКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С МЕСТАМИ ОТДЫХА

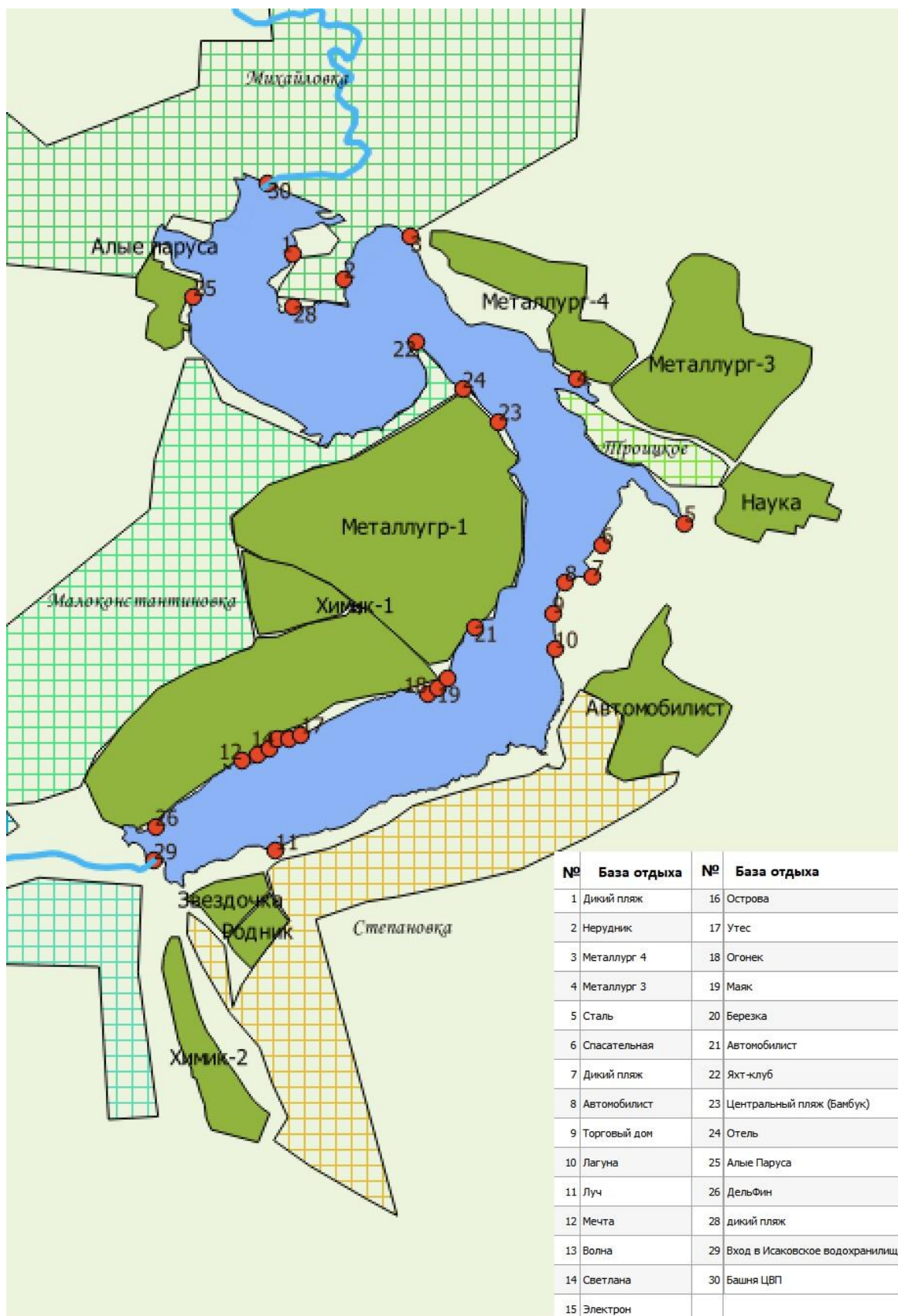


Рисунок Б1 –Карта схема Исаковского водохранилища с местами отдыха

ПРИЛОЖЕНИЕ В

КАРТА БАССЕЙНА Р БЕЛАЯ

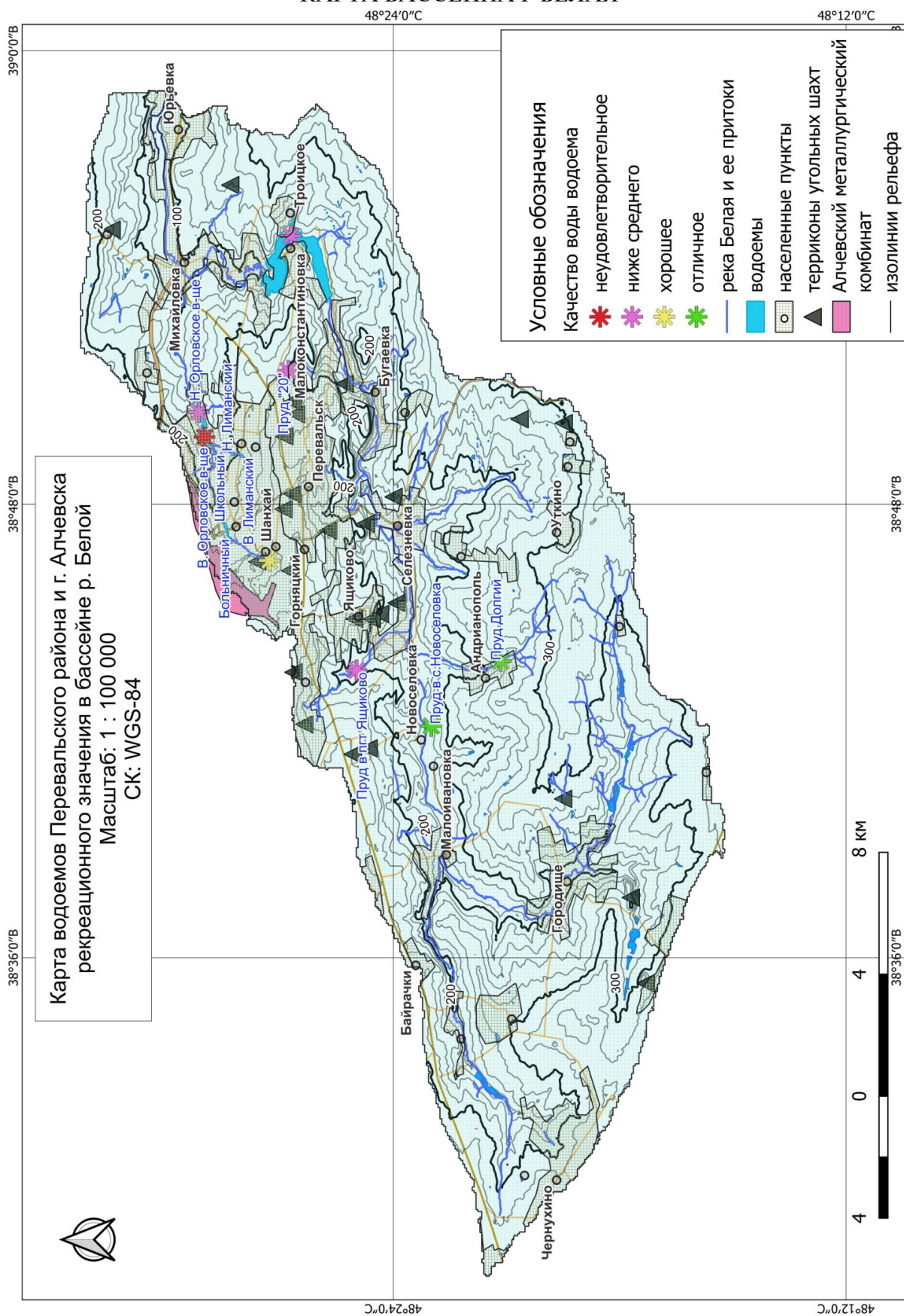


Рисунок В Карта бассейна реки Белая

Приложение Г
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Таблица В.1 Условные обозначения показателей качества воды, используемые в исследованиях

Х	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
X1	Уровень по Балтийскому морю	м	Максимальная глубина Исаковского водохранилища составляет 18 м. При этом абсолютная отметка составляет 110 м над уровнем моря.
X2	Глубина забора от зеркала воды	м	Всас насоса для основного забора воды находится на глубине 7 м от поверхности при нормальном уровне воды. Если же уровень воды ниже 110, то соответственно и глубина меньше. X2=X1-110м.
X3	Температура воды на глубине забора	град С	Температура воды на глубине X2,
X4	Температура воздуха	град С	Температура воздуха в районе Исаковского водохранилища
X5	Цветность	град цветности	Цветность воды характеризует интенсивность окраски, обусловлена содержанием окрашенных соединений..
X6	Мутность	мг/дм ³	Мутность воды характеризует уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей.
X7	Водородный показатель	единицы рН	Водородный показатель рН, мера активности ионов водорода в растворе, количественно выражающая его кислотность.
X8	Щелочность	ммоль/дм ³	Щелочность показатель количественной оценки свойств водной среды реагировать с ионами водорода или же способность воды сопротивляться изменению рН при добавлении кислоты.
X9	Кальций	мг/дм ³	Количество кальция, которое содержится в воде.
X10	Магний	мг/дм ³	Количество магния, которое содержится в воде.
X11	Жесткость общая	ммоль/дм ³	Суммарная концентрация ионов Ca ²⁺ и Mg ²⁺ в воде, выраженная в ммоль/дм ³ .
X12	Железо общее	мг/дм ³	Количество железа во всех формах, которое содержится в воде.
X13	Сухой остаток	мг/дм ³	Количество растворенных солей в миллиграммах, содержащихся в 1 л воды, обусловлен катионами кальция, магния, натрия, калия и анионами - хлоридами, сульфатами, гидрокарбонатами, фосфатами и др.
X14	Сульфаты	мг/дм ³	Сульфаты в воде - это анионы (заряженные отрицательно ионы SO ₄ ²⁻) солей серной кислоты H ₂ SO ₄ .
X15	Хлориды	мг/дм ³	Соли, полученные при взаимодействии соляной кислоты и катионов металла, имеющие высокую растворимость в воде. Самые распространенные хлориды - кальциевые, магниевые и натриевые.
X16	Медь	мг/дм ³	Количество меди, которое содержится в воде. Повышенное содержание меди может быть связано со сбросом промышленных сточных вод, а также коррозией медьсодержащих изделий.
X17	БПК	мгО/дм ³	Биохимическое потребление кислорода (БПК).
X18	Окисляемость перманган.	мг/дм ³	Показатель содержания в воде органических и минеральных веществ, удерживающих преобразование железа из двухвалентного в трехвалентное, которое может быть окислено кислородом, и позволяющий судить о загрязнении воды в целом.

Х	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
X19	Ортофосфаты	мг/дм ³	Органические соединения фосфора присутствуют в поверхностных водах в растворенном, взвешенном и коллоидном состоянии.
X20	Сероводород	мг/дм ³	В поверхностных водах сероводород образуется после израсходования растворенного кислорода на разложение органических веществ.
X21	Аммоний -ионы	мг/дм ³	Аммиак является начальным продуктом разложения органических азотосодержащих веществ. Поэтому наличие аммиака в воде может расцениваться как показатель опасного в эпидемическом отношении свежего загрязнения воды органическими веществами животного происхождения.
X22	Нитраты-ионы	мг/дм ³	Конечные продукты минерализации органических веществ бактериями, присутствующими в почве и в воде с достаточным содержанием кислорода. Присутствие в воде нитратов без аммиака и нитритов указывает на завершение процесса минерализации.
X23	Нитриты -ионы	мг/дм ³	Продукты неполного окисления аммиака под влиянием микроорганизмов в процессе нитрификации. Наличие нитритов свидетельствует о возможном загрязнении воды органическими веществами, однако нитриты указывают на известную давность загрязнения.
X24	ОМЧ при 37 град	КОЕ/см ³	ОМЧ при температуре инкубации 37 °С - индикаторная группа микроорганизмов, в числе которых определяют в большей мере аллохтонную микрофлору, внесенную в водоем в результате антропогенного загрязнения, в т. ч. фекального.
X25	ОМЧ при 22 град	КОЕ/см ³	ОМЧ при температуре инкубации 22°С - индикаторная группа микроорганизмов, в числе которых, помимо аллохтонной, определяют водную микрофлору данного водоема (автохтонную).
X26	самоочищение	-	Соотношение численности этих групп микроорганизмов позволяет судить об интенсивности процесса самоочищения, активными участниками которого они являются. Коэффициент соотношения ОМЧ 22°С/ОМЧ 37°С равен четырем и выше). В местах загрязнения хозяйственно-бытовыми сточными водами численные значения обеих групп близки.
X27	Индекс ЛКП	КОЕ/дм ³	Лактозоположительные кишечные палочки ЛКП – являются основным нормируемым показателем степени фекального загрязнения воды открытых водоемов.
X28	E.coli	КОЕ/дм ³	Обнаружение их в поверхностных водах подтверждает наличие фекального загрязнения.
X29	Колифаги	КОЕ/см ³	Колифаги – это бактериофаги (вирусы бактерий), способные инфицировать E.coli и родственные ей бактерии. Поэтому наличие колифагов свидетельствует о присутствии бактерий-хозяев, а значит, о факте фекального загрязнения воды.
X30	Энтерококки	КОЕ/дм ³	Показатель, подтверждающий фекальные загрязнения в воде.
X31	Количество водорослей	клеток/1 см ³	Численность водорослей, которые содержатся в 1 см ³
X32	Биомасса	г/дм ³	Масса водорослей в граммах, которые содержатся в 1дм ³

Продолжение таблицы В.1

Х	Наименование	Единицы измерения	Пояснения
1	2	3	4
Х33	Растворенный кислород (РК)	мгО/дм ³	Содержание РК в исследуемой пробе воды. Содержание РК зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, количества осадков, минерализации воды и прочее. В поверхностных водах содержание РК может колебаться от 0 до 14мг/дм ³ и подвержено сезонным и суточным колебаниям. Содержание РК является полноценным показателем качества воды.
Х34	Дозировка хлора	мг/дм ³	Количество хлора, дозируемого в исходную воду при первичном хлорировании.
Х35	Общий остаточный хлор	мг/дм ³	Количество хлора, который содержится в воде, после контактной и регулирующей емкостей.
Х36	Свободный хлор	мг/дм ³	Количество свободного хлора, который содержится в воде после контактной и регулирующей емкостей.
Х37	Связанный хлор	мг/дм ³	Количество связанного хлора, который содержится в воде после контактной и регулирующей емкостей.
Х38	Хлорпоглощаемость	ХП, мг/дм ³	Количество хлора, которое поглощается в контактной и регулируемой емкостях при первичном хлорировании. ХП(Х38)=Дозировка хлора (Х34) - Общий остаточный хлор (Х35)